

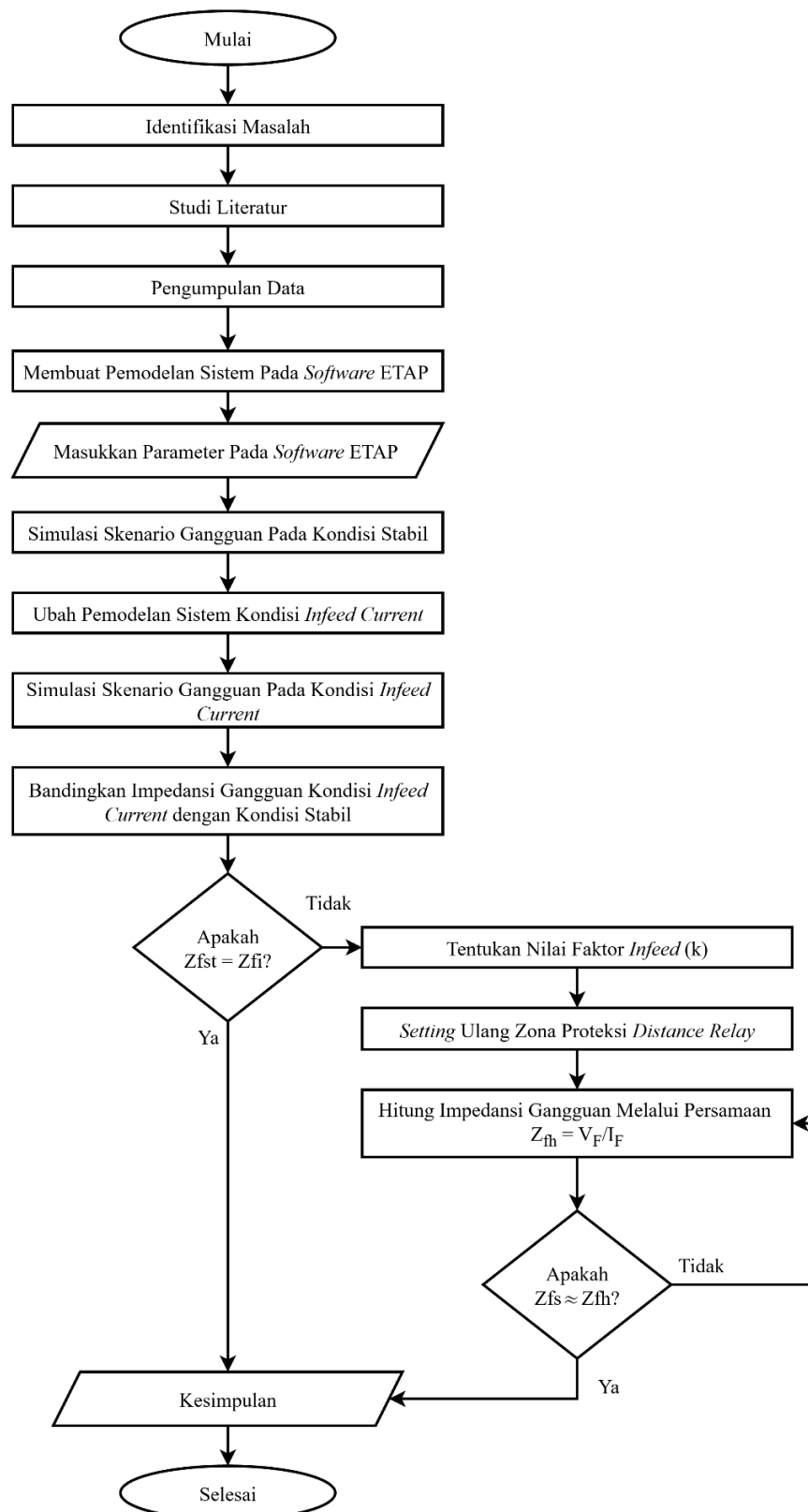
BAB III

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini digunakan metode simulasi pada perangkat lunak (*software*) ETAP 19.0.1. Metode ini digunakan untuk memodelkan sistem yang menyerupai kondisi sebenarnya yakni saluran transmisi 150 kV Sunyaragi–Mandirancan–Arjawinangun dengan komponen–komponen listrik yang digunakan yakni *distance relay*, saluran transmisi tiga fasa, bus, *grid*, CT, PT, dan generator dengan *setting* berdasarkan data sekunder yang diperoleh.

Simulasi proteksi dilakukan pada modul *star z protection* yang berfungsi menganalisis karakteristik kerja *distance relay* pada berbagai gangguan serta simulasi untuk menganalisis pengaruh pembacaan impedansi gangguan oleh *distance relay* pada kondisi stabil dan *infeed current*. Untuk menganalisis pengaruhnya dilakukan melalui skenario gangguan simetris dengan lokasi yang berbeda pada sistem. Pendekatan yang dilakukan pada penelitian ini yakni pendekatan kuantitatif, karena dalam analisisnya pengolahan dilakukan menggunakan data numerik yang didapatkan dari hasil simulasi dan perhitungan manual. Hasil simulasi berupa impedansi gangguan, arus yang dibaca oleh CT, dan arus *infeed*. Sedangkan hasil perhitungan manual berupa nilai faktor *infeed current* (*k*), impedansi *setting* zona 2, impedansi *setting* zona 3, dan impedansi gangguan secara perhitungan. Kemudian nantinya dibandingkan dan dianalisis untuk mengetahui perbedaan pembacaan impedansi gangguan oleh *distance relay* pada kondisi dengan tanpa *infeed current*.

3.1 Flowchart Penelitian



Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian

Tahap – tahap penelitian seperti yang tercantum pada Gambar 3.1 di atas antara lain sebagai berikut:

3.1.1 Identifikasi masalah

Penelitian ini dimulai dengan mengidentifikasi permasalahan pada sistem proteksi saluran transmisi, khususnya pada *distance relay*. Ditemukan sebuah permasalahan terkait dengan pembacaan impedansi gangguan oleh *distance relay* yang dapat dipengaruhi oleh arus tambahan dari sumber atau jaringan lain yang menuju titik gangguan. Adanya arus tambahan yang masuk ini disebut *infeed current*. Pada proses identifikasi ini, dilakukan analisis bagaimana *infeed current* dapat mempengaruhi nilai impedansi yang dibaca oleh *distance relay*, sehingga berpotensi kinerja rele dalam membaca impedansi gangguan menjadi tidak akurat. Lokasi penelitian yang dipilih kali ini adalah gardu induk 150 kV Sunyaragi.

3.1.2 Studi literatur

Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan, mempelajari dan menganalisis sumber atau teori yang relevan dengan topik penelitian. Sumber yang dijadikan referensi dapat berupa buku dan jurnal. Referensi yang didapatkan digunakan sebagai dasar teori dalam penyelesaian masalah pada penelitian ini.

3.1.3 Pengumpulan data

Data yang dikumpulkan diperoleh dari PT. PLN (Persero) UPT Cirebon. Adapun data yang diperlukan yakni data primer dan data sekunder.

3.1.3.1 Data primer

Dara primer adalah data yang didapat secara langsung oleh peneliti melalui pengukuran, simulasi, ataupun pengamatan di lapangan. Pada penelitian ini, data primer diperoleh dari hasil simulasi menggunakan *software* ETAP.

3.1.3.2 Data sekunder

Data sekunder adalah data yang didapat dari sumber data yang sudah ada sebelumnya. Pada penelitian ini, data sekunder diperoleh dari pengambilan data pendukung yang ada di PT. PLN (Persero) UPT Cirebon dan PLTU Cirebon Power. Adapun data–data yang diperlukan sebagai berikut:

1. Data *Single Line Diagram* UPT Cirebon

Data SLD ini digunakan untuk memvisualisasikan interkoneksi gardu induk yang ada di UPT Cirebon, sehingga mempermudah dalam membuat pemodelan sistem pada aplikasi ETAP.

2. Data *Single Line Diagram* Gardu Induk 150 kV Sunyaragi

Data SLD ini digunakan untuk memvisualisasikan interkoneksi gardu induk 150 kV Sunyaragi sehingga mempermudah dalam membuat pemodelan sistem pada aplikasi ETAP.

3. Data *Single Line Diagram* Gardu Induk 150 kV Mandirancan

Data SLD ini digunakan untuk memvisualisasikan interkoneksi gardu induk 150 kV Mandirancan sehingga mempermudah dalam membuat pemodelan sistem pada aplikasi ETAP.

4. Data *Single Line Diagram* Gardu Induk 150 kV Arjawinangun

Data SLD ini digunakan untuk memvisualisasikan interkoneksi gardu induk 150 kV Arjawinangun sehingga mempermudah dalam membuat

pemodelan sistem pada aplikasi ETAP.

5. Data Saluran Transmisi 150 kV Sunyaragi–Mandirancan

Data saluran transmisi 150 kV Sunyaragi–Mandirancan berisikan jenis penghantar, impedansi saluran, panjang saluran, impedansi urutan positif, impedansi urutan negatif, dan impedansi urutan nol yang akan dimasukkan ke dalam parameter saluran transmisi pada aplikasi ETAP.

6. Data Saluran Transmisi 150 kV Mandirancan–Arjawinangun

Data saluran transmisi 150 kV Mandirancan–Arjawinangun berisikan jenis penghantar, impedansi saluran, panjang saluran, impedansi urutan positif, impedansi urutan negatif, dan impedansi urutan nol yang akan dimasukkan ke dalam parameter saluran transmisi pada aplikasi ETAP.

7. Data *Setting Distance Relay* Gardu Induk Sunyaragi

Data *setting distance relay* yang terpasang di gardu induk Sunyaragi berisikan jenis rele, sudut saluran, impedansi zona 1, *time delay* zona 1, impedansi zona 2, *time delay* zona 2, impedansi zona 3, dan *time delay* zona 3 yang akan dimasukkan ke dalam parameter *distance relay* pada aplikasi ETAP.

8. Data CT dan PT Gardu Induk Sunyaragi

Data CT dan PT yang terpasang di gardu induk Sunyaragi berisikan rasio arus dan tegangan yang akan dimasukkan ke dalam parameter CT dan PT pada aplikasi ETAP.

9. Data Generator, Trafo *Step-Up*, dan Saluran Transmisi 150 kV Cirebon Power–Sunyaragi

Data generator, trafo *step-up*, dan saluran transmisi 150 kV Cirebon Power

–Sunyaragi berisikan *rating* daya, *rating* tegangan, reaktansi, impedansi, jenis penghantar, impedansi saluran, panjang saluran, impedansi urutan positif, impedansi urutan negatif, dan impedansi urutan nol yang akan dimasukan ke dalam parameter generator, trafo *step-up*, dan saluran transmisi pada aplikasi ETAP.

10. Data Generator, Trafo *Step-Up*, Saluran Transmisi 150 kV Cirebon Power–Mandirancan, dan Trafo IBT Mandirancan

Data generator, trafo *step-up*, saluran transmisi 150 kV Cirebon Power–Mandirancan, dan trafo IBT Mandirancan berisikan *rating* daya, *rating* tegangan, reaktansi, impedansi, jenis penghantar, impedansi saluran, panjang saluran, impedansi urutan positif, impedansi urutan negatif, dan impedansi urutan nol yang akan dimasukan ke dalam parameter generator, trafo *step-up*, saluran transmisi, dan trafo *step-down* pada aplikasi ETAP.

3.1.4 Membuat pemodelan sistem pada ETAP

Dalam penelitian ini digunakan *software* ETAP 19.0.1 sebagai media untuk memodelkan sistem tenaga listrik. Pada tahap ini pemodelan dilakukan dengan memasukkan komponen–komponen utama yang meliputi, generator, trafo *step-up*, *distance relay*, saluran transmisi, *circuit breaker*, CT, dan PT, sehingga menjadi bentuk *single line diagram* di ETAP. Model yang dibuat pada kondisi stabil (tanpa *infeed current*).

3.1.5 Memasukkan parameter pada ETAP

Pemodelan *single line diagram* yang telah dibuat perlu dimasukkan parameter

–parameter teknis ke setiap komponen dari data yang telah dikumpulkan agar simulasi dapat dijalankan.

3.1.6 Simulasi skenario gangguan pada kondisi stabil

Setelah memasukkan semua data ke dalam pemodelan di ETAP, maka selanjutnya dilakukan simulasi pada kondisi stabil dengan skenario gangguan yang meliputi gangguan tiga fasa, gangguan fasa–fasa, gangguan fasa ke tanah, dan gangguan dua fasa ke tanah dengan letak gangguan di saluran transmisi Mandirancan–Arjawinangun pada 30%, 50%, dan 70%.

3.1.7 Ubah pemodelan kondisi *infeed current*

Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh dari kondisi *infeed current* terhadap pembacaan impedansi gangguan. Sebelumnya sudah dilakukan simulasi pada kondisi stabil, untuk melihat pada kondisi *infeed current* maka perlu dilakukan perubahan model dari kondisi stabil menjadi kondisi *infeed current*.

3.1.8 Simulasi skenario gangguan pada kondisi *infeed current*

Setelah memasukkan semua data ke dalam pemodelan di ETAP, maka selanjutnya dilakukan simulasi pada kondisi *infeed current* dengan skenario gangguan yang meliputi gangguan tiga fasa, gangguan fasa–fasa, gangguan fasa ke tanah, dan gangguan dua fasa ke tanah dengan letak gangguan di saluran Mandirancan–Arjawinangun pada 30%, 50%, dan 70%. Adapun empat kondisi *infeed current* yang dimodelkan meliputi adanya sumber atau pembangkit di gardu

induk depannya, kondisi saluran ganda ke tunggal, kondisi saluran tunggal ke ganda, dan kondisi saluran ganda ke ganda.

3.1.9 Bandingkan hasil simulasi skenario gangguan pada kondisi *infeed current* dengan kondisi stabil (tanpa *infeed*)

Hasil simulasi berupa impedansi yang dibaca oleh rele pada kondisi *infeed current* dengan skenario gangguan dan letak gangguan yang telah dilakukan dibandingkan dengan hasil simulasi impedansi yang dibaca pada kondisi stabil (tanpa *infeed*).

3.1.10 Pengecekan nilai impedansi gangguan kondisi *infeed current* dengan kondisi stabil

Jika nilai impedansi gangguan kondisi *infeed current* (Z_{fi}) sama dengan impedansi gangguan kondisi stabil (Z_{fst}), maka hasil penelitian dapat langsung ditarik kesimpulan. Namun apabila nilai impedansi gangguan kondisi *infeed current* (Z_{fi}) tidak sama dengan impedansi gangguan kondisi stabil (Z_{fst}), maka perlu dilakukan langkah berikutnya yakni menentukan nilai faktor *infeed* (k).

3.1.11 Tentukan nilai faktor *infeed current* (k)

Nilai faktor *infeed current* (k) dapat dicari menggunakan perhitungan manual dengan membandingkan arus gangguan dengan arus yang terbaca oleh CT. Nilai arus didapatkan dari hasil simulasi yang telah dijalankan.

3.1.12 *Setting ulang zona proteksi distance relay*

Setting ulang zona proteksi *distance relay* perlu dilakukan setelah nilai faktor *infeed current* (k) diperoleh. Impedansi *setting* yang dihitung ulang berfokus kepada zona 2 dan zona 3 untuk dikalikan dengan faktor *infeed current* (k). Hal ini dimaksudkan agar pada kondisi *infeed current*, jangkauan rele tetap sesuai zonanya serta rele tidak membaca jarak gangguan dalam kondisi *overreach* maupun *underreach*.

3.1.13 Hitung Impedansi Gangguan (Z_{fh})

Selanjutnya untuk membuktikan bahwa impedansi gangguan hasil simulasi adalah dianggap benar serta nilai faktor *infeed current* (k) merupakan solusi yang benar maka dilakukan dengan menghitung impedansi gangguan hasil perhitungan (Z_{fh}) menggunakan Persamaan 2.78 dan 2.94.

3.1.14 Pengecekan nilai impedansi gangguan hasil perhitungan (Z_{fh}) dengan impedansi gangguan hasil simulasi (Z_{fs})

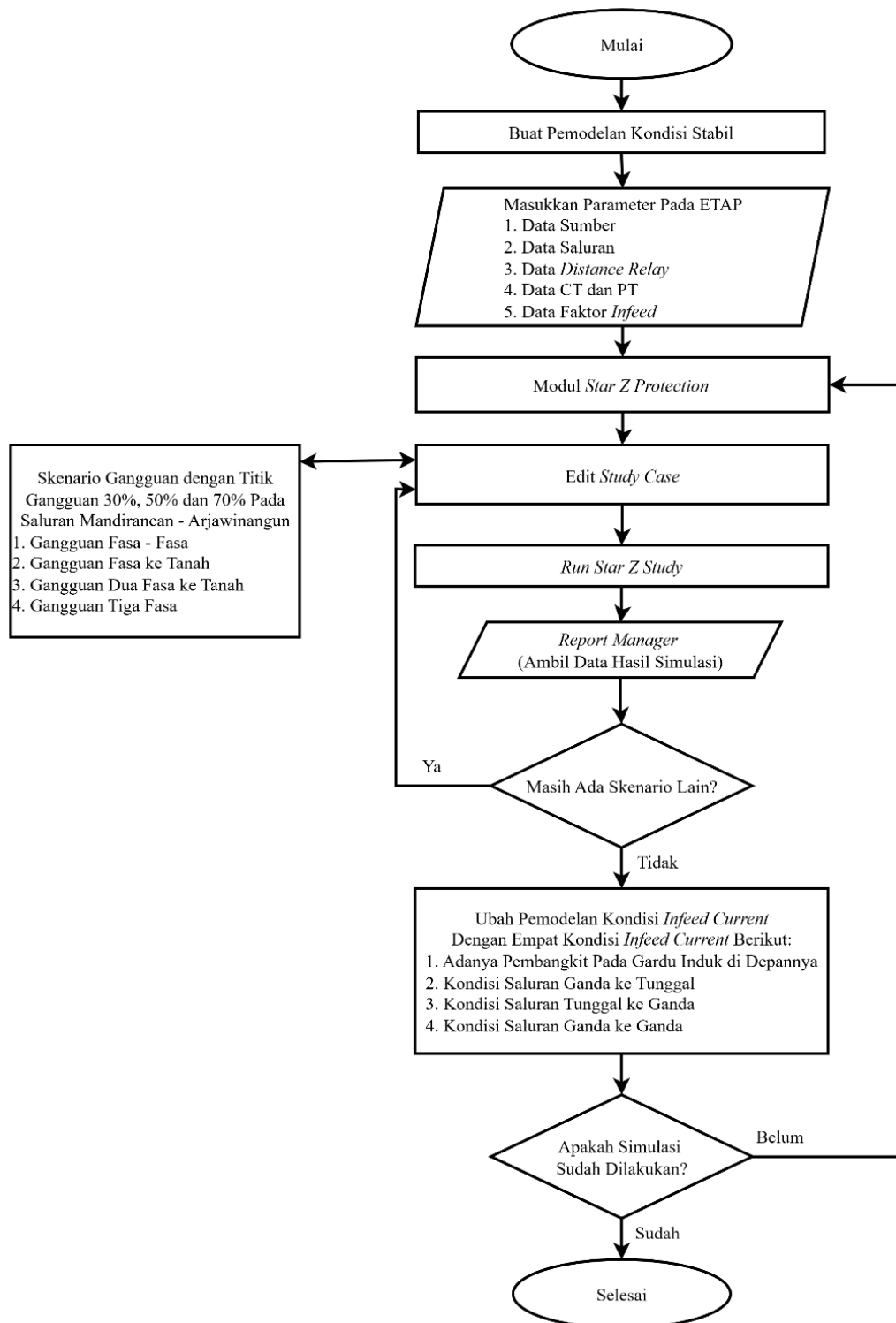
Impedansi gangguan hasil perhitungan (Z_{fh}) yang telah dihitung sebelumnya, dicek kepada nilai impedansi gangguan hasil simulasi (Z_{fs}), apakah nilainya mendekati Z_{fs} ($Z_{fh} \approx Z_{fs}$). Apabila Z_{fh} mendekati dengan Z_{fs} maka dapat dilakukan langkah selanjutnya yakni menarik kesimpulan. Namun, jika Z_{fh} jauh sekali nilainya dari Z_{fs} , maka perlu dilakukan perhitungan Z_{fh} ulang. Pada hal ini, diambil indeks mendekati ($\approx$) dikarenakan ada perbedaan pembulatan antara simulasi dengan perhitungan manual. Langkah ini juga sebagai validasi apabila

nilai hasil simulasi mendekati dengan hasil perhitungan, maka nilai faktor *infeed current* (k) dikatakan valid.

3.1.15 Tarik kesimpulan

Setelah dilakukan *setting* ulang zona proteksi *distance relay*, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai *output* terakhir dari penelitian ini.

3.2 Flowchart Simulasi



Gambar 3. 2 Flowchart Simulasi

Berikut langkah–langkah simulasi skenario gangguan seperti pada Gambar 3.2:

3.2.1 Buat pemodelan kondisi stabil

Studi kasus pada penelitian ini dilakukan pada saluran transmisi 150 kV Sunyaragi–Mandirancan–Arjawinangun seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.1, 4.2, 4.3, dan 4.4 interkoneksi dari saluran tersebut. Hal pertama yang dilakukan untuk simulasi skenario gangguan adalah membuat pemodelan kondisi stabil (tanpa *infeed*). Kondisi stabil yang dimaksud yakni sistem dimodelkan tanpa ada *infeed current*, dengan sumber berasal dari trafo tenaga yang dimodelkan dalam *grid*, kemudian terhubung ke bus gardu induk 150 kV Sunyaragi yang diteruskan melalui saluran transmisi tiga fasa hingga sampai ke bus gardu induk 150 kV Mandirancan. Dari bus gardu induk 150 kV Mandirancan dihubungkan lagi menggunakan saluran transmisi tiga fasa sampai bus gardu induk 150 kV Arjawinangun. Pada gardu induk 150 kV Sunyaragi dipasang sebuah rele jarak yang terhubung ke saluran transmisi Sunyaragi–Mandirancan melalui input trafo arus dan trafo tegangan. Simulasi kondisi stabil ini perlu dilakukan karena akan menjadi pembanding untuk kondisi *infeed current*.

3.2.2 Masukkan parameter pada ETAP

Untuk menjalankan simulasi perlu memasukkan parameter data ke dalam komponen–komponen pada pemodelan sistem yang telah dibuat. Data yang perlu dimasukkan meliputi data generator, trafo *step-up*, data saluran, data rele, data CT dan PT, serta data *infeed* seperti yang termuat pada Tabel 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, dan 4.5.

3.2.3 Simulasi pada modul *star z protection*

Setelah semua parameter telah dimasukkan, selanjutnya pada simulasi skenario gangguan dengan tujuan melihat hasil pembacaan impedansi gangguan oleh *distance relay* maka perlu dilakukan pada bagian *star z protection*. *Star z protection* adalah salah satu fitur pada *software* ETAP yang digunakan untuk memodelkan dan menganalisis *distance relay* yang berbasis impedansi.

3.2.4 *Edit study case*

Edit study case merupakan fitur yang membantu dalam membuat beberapa kondisi operasi sistem tanpa harus membuat *project* baru. Langkah ini dilakukan untuk membuat skenario–skenario gangguan yang telah ditentukan dengan memasukkan titik gangguan dan jenis gangguan. Skenario gangguan yang meliputi gangguan fasa–fasa, gangguan fasa ke tanah, gangguan dua fasa ke tanah, dan gangguan tiga fasa dengan letak gangguan di saluran Mandirancan – Arjawinangun pada 30%, 50%, dan 70%. Berikut skenario gangguan yang dilakukan:

- a. Skenario gangguan tiga fasa dengan letak gangguan 30% panjang saluran transmisi Mandirancan–Arjawinangun.
- b. Skenario gangguan tiga fasa dengan letak gangguan 50% panjang saluran transmisi Mandirancan–Arjawinangun.
- c. Skenario gangguan tiga fasa dengan letak gangguan 70% panjang saluran transmisi Mandirancan–Arjawinangun.
- d. Skenario gangguan fasa–fasa dengan letak gangguan 30% panjang saluran transmisi Mandirancan–Arjawinangun.

- e. Skenario gangguan fasa–fasa dengan letak gangguan 50% panjang saluran transmisi Mandirancan–Arjawinangun.
- f. Skenario gangguan fasa–fasa dengan letak gangguan 70% panjang saluran transmisi Mandirancan–Arjawinangun.
- g. Skenario gangguan satu fasa ke tanah dengan letak gangguan 30% panjang saluran transmisi Mandirancan–Arjawinangun.
- h. Skenario gangguan satu fasa ke tanah dengan letak gangguan 50% panjang saluran transmisi Mandirancan–Arjawinangun.
- i. Skenario gangguan satu fasa ke tanah dengan letak gangguan 70% panjang saluran transmisi Mandirancan–Arjawinangun.
- j. Skenario gangguan dua fasa ke tanah dengan letak gangguan 30% panjang saluran transmisi Mandirancan–Arjawinangun.
- k. Skenario gangguan dua fasa ke tanah dengan letak gangguan 50% panjang saluran transmisi Mandirancan–Arjawinangun.
- l. Skenario gangguan dua fasa ke tanah dengan letak gangguan 70% panjang saluran transmisi Mandirancan–Arjawinangun.

3.2.5 *Run star z study*

Run star z study bertujuan untuk menjalankan sistem yang telah dibuat. Setelah skenario yang dibuat telah siap, maka selanjutnya dilakukan *running* agar model sistem yang telah dibuat dapat bekerja.

3.2.6 *Report manager* (ambil data hasil simulasi)

Pengambilan data impedansi gangguan yang dibaca oleh rele (Z_{fs}) dilihat

pada bagian *report manager*. *Report manager* menunjukkan data hasil dari simulasi yang telah dijalankan. Untuk hasil impedansi gangguan yang dibaca oleh rele terdapat pada bagian *seen impedance*. Selain itu karena pada penelitian ini akan dicari nilai faktor *infeed* (k), maka diambil juga data arus yang dibaca oleh rele dan arus *infeed*. Data arus tersebut dapat dilihat pada bagian *short circuit report*.

3.2.7 Pengecekan skenario

Apabila skenario dari pemodelan sistem yang telah dibuat belum selesai dijalankan semuanya, maka dilakukan *edit study case* lagi untuk melanjutkan skenario selanjutnya. Jika skenario yang telah dijalankan sudah tidak ada lagi, maka beranjak ke langkah berikutnya untuk ubah pemodelan sistem.

3.2.8 Ubah pemodelan kondisi *infeed current*

Pemodelan sistem yang semula pada kondisi stabil perlu diubah menjadi kondisi *infeed current* sesuai yang telah ditentukan. Berikut kondisi *infeed current*:

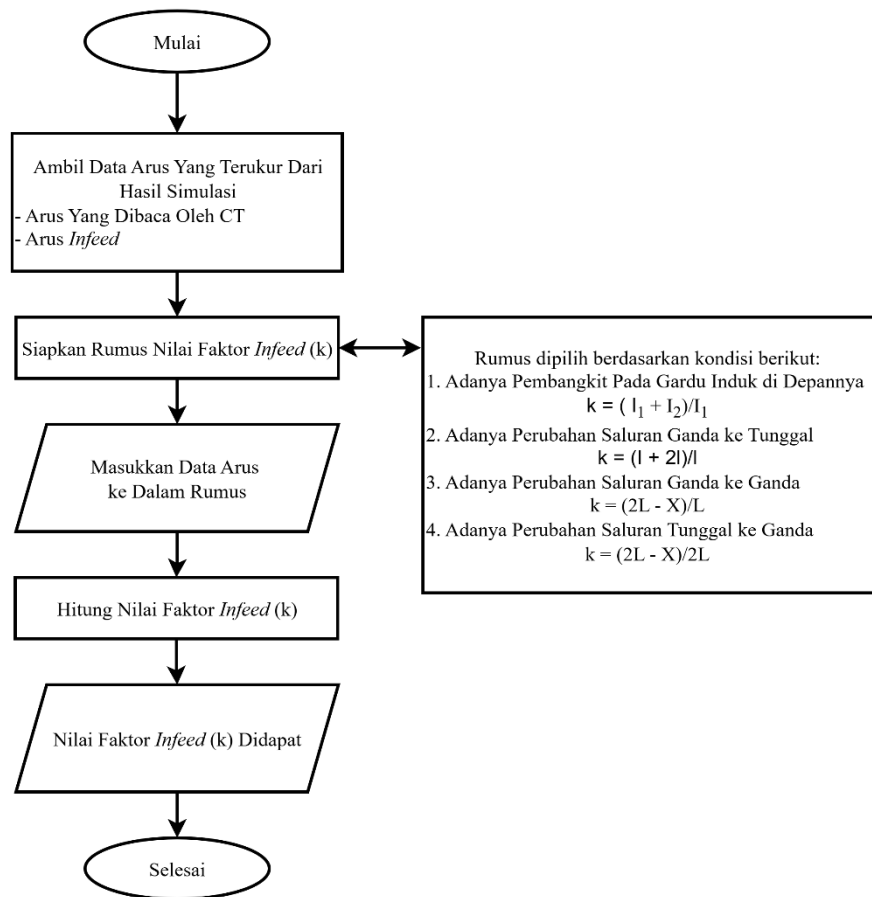
- a. Adanya pembangkit pada gardu induk di depannya
- b. Adanya saluran transmisi ganda ke tunggal
- c. Adanya saluran transmisi ganda ke ganda
- d. Adanya saluran transmisi tunggal ke ganda

3.2.9 Pengecekan simulasi

Setelah pemodelan sistem diubah sesuai dengan kondisi *infeed current* yang telah ditentukan, maka dilakukan pengecekan simulasi. Apabila simulasi sudah

dilakukan, maka proses dapat dikatakan selesai. Namun, jika simulasi belum dilakukan, maka perlu dilakukan proses simulasi *star z protection*.

3.3 Flowchart Menentukan Nilai Faktor *Infeed Current* (k)



Gambar 3. 3 Flowchart Menentukan Nilai Faktor *Infeed* (k)

Langkah–langkah untuk menentukan nilai *infeed current* seperti pada Gambar 3.7 di atas sebagai berikut:

3.3.1 Ambil data arus yang terukur dari hasil simulasi

Untuk menentukan nilai faktor *infeed current* (k), dibutuhkan data berupa arus yang dibaca oleh CT pada gardu induk Sunyaragi dan arus *infeed* serta arus

gangguan total. Nilai arus dapat dilihat dari hasil simulasi pada *report manager* bagian *short circuit report*.

3.3.2 Siapkan rumus nilai faktor *infeed current* (k)

Karena sistem yang disimulasikan terdiri dari beberapa kondisi, untuk rumus nilai faktor *infeed current* (k) juga berbeda. Untuk menghitung nilai faktor *infeed* (k) dapat digunakan Persamaan 2.96, 2.99, 2.104, dan 2.108.

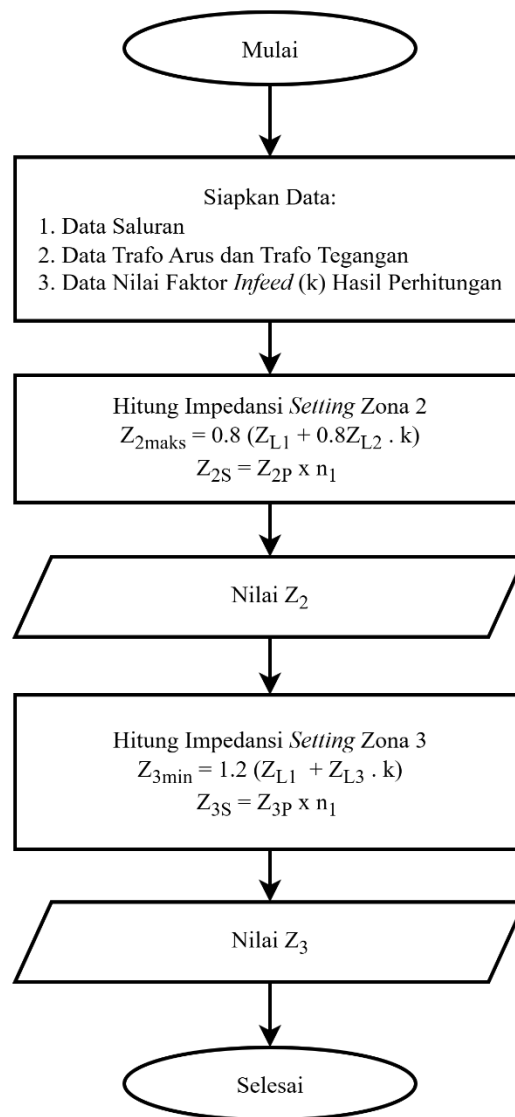
3.3.3 Masukkan data arus ke dalam rumus

Apabila rumus telah dipilih sesuai kondisi yang sedang dijalankan, maka data yang telah diambil pada proses sebelumnya dapat dimasukkan ke dalam rumus.

3.3.4 Hitung nilai faktor *infeed current* (k)

Data yang telah dimasukkan ke rumus, selanjutnya dapat dihitung hingga mendapatkan sebuah nilai.

3.4 Flowchart Setting Ulang Zona Proteksi Distance Relay



Gambar 3. 4 Flowchart Setting Ulang Zona Proteksi Distance Relay

Langkah–langkah melakukan *setting* ulang zona proteksi *distance relay* seperti Gambar 3.4 sebagai berikut:

3.4.1 Siapkan Data

Untuk melakukan perhitungan *setting* zona proteksi *distance relay*, perlu terlebih dahulu menyiapkan data penunjang agar diperoleh *setting* zona yang baru. Adapun data yang disiapkan yakni terdiri dari data saluran, data trafo arus, data

trafo tegangan, serta data nilai faktor *infeed current* (k) hasil perhitungan dari langkah sebelumnya.

3.4.2 Hitung impedansi *setting* zona 2

Setelah data yang diperlukan siap, *setting* zona proteksi yang dihitung pertama yakni zona 2. Zona 1 tidak diperhitungkan karena dalam penyetelannya tidak dikalikan dengan nilai faktor *infeed* (k) jika ada. Untuk melakukan perhitungan *setting* zona 2 dapat menggunakan Persamaan 2.85 untuk mencari nilai Z_{2maks} , dikarenakan saluran kedua lebih panjang dari saluran pertama sehingga Z_{2maks} dipilih sebagai impedansi *setting* zona 2. Nilai Z_{2maks} merupakan nilai pada sisi primer, maka untuk mengubah ke dalam sisi sekunder perlu digunakan Persamaan 2.87.

3.4.3 Hitung impedansi *setting* zona 3

Berikutnya dihitung nilai impedansi *setting* proteksi zona 3. Untuk *setting* zona 3 dipilih Z_{3min} , karena nilai ini memiliki impedansi terbesar di antara Z_{3maks1} , Z_{3maks2} , tanpa melebihi 0.8 impedansi trafonya. Nilai impedansi *setting* zona 3 dihitung menggunakan Persamaan 2.88 dan 2.92.